

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

_____ С.Т. Князев
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

| Код модуля | Модуль |
|------------|---------------------------------------|
| 1155932 | Дополнительные главы квантовой теории |

Екатеринбург

| | |
|---|---|
| Перечень сведений о рабочей программе модуля | Учетные данные |
| Образовательная программа 1. Физика | Код ОП 1. 03.03.02/33.01 |
| Направление подготовки 1. Физика | Код направления и уровня подготовки 1. 03.03.02 |

Программа модуля составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|--|--|--------------------------|--|
| 1 | Тебеньков Александр Владимирович | кандидат физико- математических наук, без ученого звания | Старший преподаватель | физики конденсированного состояния и наноразмерных систем |

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ **Дополнительные главы квантовой теории**

1.1. Аннотация содержания модуля

Изучение дисциплины «Дополнительные главы квантовой теории» основывается на результатах освоения дисциплин, входящих в модули «Общая физика», «Теоретическая физики», «Теория конденсированного состояния» и, в свою очередь, служит базой для проведения теоретических исследований в рамках выполнения выпускной квалификационной работы. Дисциплины модуля формируют представления о современных методах решения сложных задач теоретической физики. В курсе «Дополнительные главы квантовой механики» рассматриваются стационарная и нестационарная теория возмущений, теория квантовых переходов, теория рассеяния, основы релятивистской квантовой механики, квантовая теория систем многих частиц. Дисциплина «Квантовая теория магнетизма» включает элементы теории атомов в кристаллах, спиновую алгебру и спин-гамильтонианы, микроскопическую теорию магнитных взаимодействий, метод молекулярного поля, метод спиновых волн, теорию сверхтонких взаимодействий. Курс «Полевые методы в физике конденсированного состояния» посвящен изложению метода функций Грина в теории конденсированного состояния. В курсе «Прикладные пакеты и подготовка публикаций» студенты осваивают работу с прикладными пакетами для подготовки научных публикаций и презентаций.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

| № п/п | Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения | Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах |
|------------------|--|---|
| 1 | Дополнительные главы квантовой теории | 3 |
| ИТОГО по модулю: | | 3 |

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

| | |
|---|--|
| Пререквизиты модуля | 1. Общая физика 2. Теоретическая физика |
| Постреквизиты и кореквизиты модуля | Не предусмотрены |

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

| Перечень дисциплин модуля | Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения (индикаторы) |
|---------------------------|--------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |

| | | |
|--|--|---|
| <p>Дополнительные главы квантовой теории</p> | <p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p> | <p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p> |
| | <p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p> | <p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p> |
| | <p>ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> | <p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p> |

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Дополнительные главы квантовой теории

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| № п/п | Фамилия Имя Отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|----------------------------------|---|-----------------------|---|
| 1 | Москвин Александр Сергеевич | доктор физико-математических наук, профессор | Профессор | теоретической и математической физики |
| 2 | Тебеньков Александр Владимирович | кандидат физико-математических наук, без ученого звания | Старший преподаватель | физики конденсированного состояния и наноразмерных систем |

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 1 от 18.01.2021 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Москвин Александр Сергеевич, Профессор, теоретической и математической физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Старший преподаватель, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания; Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины* | Содержание |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| P1 | Преобразования в квантовой механике | Преобразование координат и преобразования физической системы. Унитарные (канонические) преобразования. Понятие о векторе состояния, геометрическая аналогия. Различные представления вектора состояния. Матричная механика. Группы преобразований. Понятие группы и представление группы. Примеры групп, используемых в квантовой механике. Понятие о неприводимых представлениях групп, базисе представления. Трансформационные свойства элементов базиса. Непрерывные группы, инфинитезимальные матрицы, или генераторы групп, их связь с физическими величинами. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике. Теорема Вигнера о связи собственных значений энергии и волновых функций с неприводимыми представлениями группы симметрии системы. Теорема Вигнера–Эккарта. Преобразование сдвига и оператор импульса. Однородность пространства и закон сохранения импульса. Преобразование поворота в трехмерном пространстве и оператор момента импульса. Преобразование скалярных и тензорных функций. Преобразование векторной функции. Оператор спина. Изотропность пространства и закон сохранения момента импульса. |

| | | |
|------------------|--|---|
| <p>P2</p> | <p>Математический аппарат теории момента количества движения</p> | <p>Коммутационные соотношения для компонент момента. Операторы повышения и понижения. Разбиение пространства собственных функций оператора z-компоненты момента на базисы неприводимых представлений группы трехмерных вращений (j_m-функции). Квантовое число момента и его возможные значения. Матричные элементы оператора момента. Матрицы Паули и их свойства. Трансформационные свойства j_m-функций. Векторная модель сложения моментов. Коэффициенты векторного сложения моментов (коэффициенты Клебша–Гордана), их свойства. Коэффициенты Вигнера. Сложение трех моментов и $6j$-символы. «Физическая» и «математическая» интерпретация основной формулы сложения моментов. Неприводимые тензорные операторы. Теорема Вигнера–Экарта. Эквивалентные операторы.</p> |
| <p>P3</p> | <p>Теория возмущений</p> | <p>Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень. Теория возмущений для двух близких уровней. Эффективные гамильтонианы. Псевдоспиновый формализм Теория возмущений, зависящих от времени. Квантовые переходы, вероятность перехода. Основные уравнения нестационарной теории возмущений. Переход к представлению взаимодействия. Общий вид решения основного уравнения. Хронологический оператор Дайсона. Матрица рассеяния. Квантовые переходы под действием «постоянного» и периодического возмущения. «Золотое» правило Ферми. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия–время. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Понятие о парциальных фотонах. Электромагнитные переходы. Длинноволновое приближение. Правила отбора.</p> |
| <p>P4</p> | <p>Квантовая теория упругого рассеяния</p> | <p>Метод функций Грина в теории рассеяния. Поведение решения на больших расстояниях от центра рассеяния. Амплитуда рассеяния. Борновские приближения. Дифференциальное сечение рассеяния. Упругое рассеяние в центральном поле. Формула Резерфорда. Метод парциальных волн. Фазовые сдвиги. Дифференциальное и интегральное сечения рассеяния в методе парциальных волн. Оптическая теорема.</p> |
| <p>P5</p> | <p>Элементы релятивистской квантовой механики</p> | <p>Уравнение Клейна–Гордона и уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Спиральность дираковской частицы. Дираковская частица в магнитном поле. Уравнение Паули. Спин электрона. Магнитный момент электрона. Факторы Ланде. Дираковская частица в электрическом поле, релятивистские поправки. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектра атома водорода. Сверхтонкие взаимодействия, сверхтонкая структура.</p> |
| <p>P6</p> | <p>Квантовая теория систем многих частиц</p> | <p>Р6 Квантовая теория систем многих частиц Принцип тождественности одинаковых частиц в квантовой механике. Перестановочная симметрия, операторы симметризации-антисимметризации. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Спин и перестановочная симметрия, схемы Юнга. Обменное взаимодействие Гейзенберга, спин-гамильтониан. Представление чисел заполнения. Уравнение Шредингера в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и</p> |

| | | |
|-----------|--------------------------------|--|
| | | уничтожения. Вторичное квантование. Форма операторов одно- и двух-частичного типа. Фононы. Магноны. |
| P7 | Теория многоэлектронного атома | Гамильтониан многоэлектронного атома. Простейшие модельные «одночастичные» приближения, модель эффективных зарядов. Метод самосогласованного поля Хартри и Хартри-Фока. Мультипольное разложение межэлектронного взаимодействия, интегралы Слэтера. Сложение моментов, LS- и jj-связь. Электронные оболочки, электронные конфигурации. Особенности полностью заполненных оболочек. Термы. Правило Хунда. Спин-орбитальное взаимодействие, LSJ-мультиплеты. Правило интервалов Ланде. Общая картина формирования энергетического спектра атома. |

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности | Технология воспитательной деятельности | Компетенция | Результаты обучения |
|---|---------------------------------|--|---|---|
| Профессиональное воспитание | профориентационная деятельность | Технология самостоятельной работы | ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния | У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дополнительные главы квантовой теории

Электронные ресурсы (издания)

1. Гейзенберг, В., В., Иваненко, Д.; Современная квантовая механика; Государственное технико-теоретическое изд-во, Москва, Ленинград; 1934; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45428> (Электронное издание)
2. Ведринский, Р. В.; Квантовая теория рассеяния : учебник.; Издательство Южного федерального

университета, Ростов-на-Дону; 2008; <http://www.iprbookshop.ru/46977.html> (Электронное издание)

3. Брайан, , Перфильев, , О. И.; Квантовая теория; РИПОЛ классик, Москва; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/71429.html> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Ландау, Л. Д., Пиастровский, Л. П.; Теоретическая физика : Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов : В 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.- 4-е изд., испр. ; Наука, Москва; 1989 (34 экз.)
2. Марков, М. А., Балдин, А. М., Зацепин, Г. Т., Кадышевский, В. Г., Комар, А. А.; Избранные труды : В 2 т. Т. 1. Квантовая теория поля. Физика элементарных частиц. Физика нейтрино. Философские проблемы физики; Наука, Москва; 2000 (2 экз.)
3. Бейдер, Бейдер Р., Антипин, М. Ю., Апостолова, Е. С., Бобров, М. Ф., Воронцов, И. И., Лысенко, К. А., Цирельсон, В. Г.; Атомы в молекулах. Квантовая теория; Мир, Москва; 2001 (4 экз.)
4. Вайнберг, Вайнберг С., Уржумов, Я. А., Усманов, Р. А., Подольский, Д. И., Любшин, Д. С., Жуковский, В. Ч.; Квантовая теория поля Т. 1. Общая теория; Физматлит, Москва; 2003 (1 экз.)
5. Вайнберг, Вайнберг С., Жуковский, В. Ч.; Квантовая теория поля Т. 2. Современные приложения; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2004 (2 экз.)
6. Верин, О. Г.; Природа элементарных частиц, квантовая теория и Великое Объединение; Контур-М, Москва; 2005 (5 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дополнительные главы квантовой теории

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий | Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения |
|--------------|---------------------|--|--|
|--------------|---------------------|--|--|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> |
| 2 | Практические занятия | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> |
| 3 | Консультации | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> | Не требуется |
| 4 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | <p>Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM</p> <p>Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES</p> |
| 5 | Самостоятельная работа студентов | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> | Не требуется |